

交通量・信号制御の影響を考慮したエコドライブ効果の評価*

Evaluation of Eco-Driving Effect Involved by Traffic Volume and Signal Control*

加藤秀樹**・松橋啓介***・小林伸治****・近藤美則*****

By Hideki KATO**・Keisuke MATSUHASHI***・Shinji KOBAYASHI****・Yoshinori KONDO*****

1. はじめに

即効性のある運輸部門の温暖化対策として、エコドライブの普及が注目されており、エコドライブ講習会等の結果として、車両単体では10～20%程のエコドライブ効果が報告されている^{1)・2)}。しかし、一般ドライバーからは、「到着が遅くなる。渋滞の原因となる。抜かれるのが怖い。他のドライバーの迷惑になる。」といった懸念から、実際の走行では、エコドライブの実施が躊躇されるとの意見も聴かれる。

また、エコドライブの普及を定量的な温暖化対策とするには、エコドライブを実施する車両が交通流に混入した場合、他車両の挙動に与える影響等を考慮したうえで、交通流全体の燃料消費量や二酸化炭素（以下、CO₂）排出量の削減効果を定量的に把握する必要がある。

交通流全体を対象としたエコドライブ評価については先行研究^{3)・4)}が行われているが、エコドライブの方法として発進加速のみに注目したためエコドライブ効果がシミュレーションで十分に再現できていない。信号間隔や信号の制御方法といった交通状況と、エコドライブ効果の関係についても十分な知見が得られていないといった課題がある。

そこで本研究では、交通量や信号の制御方法に応じた効果的なエコドライブ方法やエコドライブ効果を定量的に明らかにし、エコドライブが運輸部門の温暖化対策として広く一般ドライバーに普及することを目的として、単純な信号間隔と制御方法をパターン化した道路（以下、パターン道路）と実道路の信号間隔と制御方法を再現した道路（以下、実信号道路）を対象として、交通流シミュレーションを用いて交通流全体のエコドライブ効果の評価を実施した。

*キーワード：地球環境問題、交通流、エコドライブ

**非会員、工博、独立行政法人国立環境研究所

社会環境システム研究領域 交通・都市環境研究室

（茨城県つくば市小野川16-2、

TEL:029-850-2516、E-mail:kato.hideki@nies.go.jp）

***非会員、工博、独立行政法人国立環境研究所

****非会員、工博、独立行政法人国立環境研究所

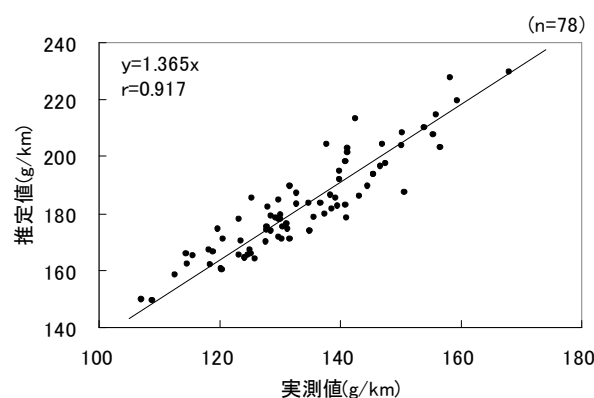
*****非会員、工博、独立行政法人国立環境研究所

2. 推定方法とシミュレーションの設定

（1）CO₂排出量の推定方法

交通流シミュレーションソフトとして、マイクロシミュレーションであるVISSIM5.1（PTV-VISION社）を使用した。シミュレーションのアウトプットとして、1秒ごとに全車両の速度、加速度を出力し、独自に作成したCO₂排出量推計モデル⁵⁾によって、車両ごとのCO₂排出量と、それらを合計した交通流全体のCO₂排出量を算出した。モデルに必要なCO₂排出量エンジンマップは、一般に公開されているJCAP II 沿道排出量推計システム⁶⁾に収録されているものから、日本で保有台数の多い小型乗用車のマップを選定した。

以上の方法を用いて推計したCO₂排出量のエコドライブ評価への適用性については、車載器を用いて実測した78トリップの燃料消費量データとCO₂排出量推計モデルで推計したCO₂排出係数を用いて評価し、図1に示すように、両者には相関係数0.917と高い相関が見られたことから、本手法で推定したCO₂排出係数は、エコドライブ効果を反映した結果を得ることができると判断した。⁵⁾



図－1 実測値とモデル推定値の関係⁵⁾

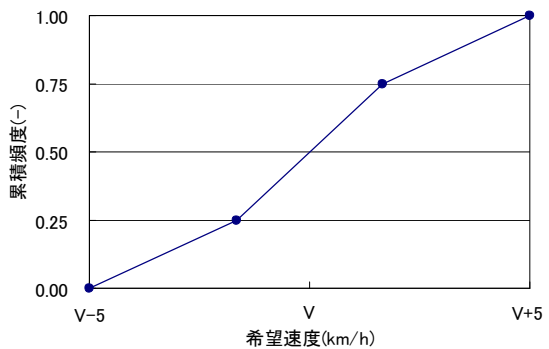
（2）運転挙動の設定

エコドライブの方法として、著者らのエコドライブに関する理論的な解析^{2)・7)}から明らかになった、燃費向上に効果的な「法定速度を守って等速運転を心がける」と「（減速時に）早めのアクセルオフを心がける」の2

つのポイントを実施することにした。表1に示したようにエコドライブを実施する車両（以下、エコ車）では、「系統速度」を希望速度とし、エコドライブを実施しない車両（以下、非エコ車）では、系統速度+10km/hを希望速度とした。ただし、現実に近い追い越し挙動が再現されることを考慮して、図2に示すように、個々の車両の希望速度には $V \pm 5\text{km/h}$ の範囲に分布を持たせた。さらに、減速時の希望加速度は、エコ車両では「ゆっくり減速」となるように -3km/h/s 一定とし、非エコ車両では -5km/h/s 一定とした。加速時の希望加速度は、エコ車・非エコ車ともに 5km/h/s 一定を基本とし、「ゆっくり加速」を行う場合のみ、加速時の希望加速度を 3km/h/s 一定とした。

表ー 1 信号の設定時間と希望速度

信号間隔 D(m)	T ₁ (s)	T ₂ (s)	希望速度V(km)	
			エコ車両	非エコ車両
250	30	60	30	40
500	45	90	40	50
1000	60	120	60	70



図ー 2 希望速度の分布

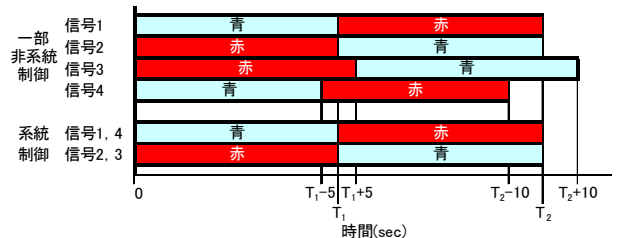
(3) パターン道路の設定

パターン道路の設定概要を図3に示す。片側2車線の道路を想定し、一定の信号間隔Dで7基の信号を設置した。交通流の連続性を考慮して、車両投入位置側から1つ目と2つ目の信号の間までをバッファ区間とし、その下流側である評価区間のみを検討の対象とした。

図4に信号の制御方法と設定時間の概要を示す。系統制御及び一部が非系統となる制御の2パターンを設定し、系統制御では、時間T1ごとに赤と青を繰り返す信号サイク

ル長T2の信号を、赤現時、青現時が道路上に交互に並ぶように設置し、一部非系統制御では、系統信号に対して、青時間、赤時間がそれぞれ5秒ずつ長く、信号サイクル長として10秒長い信号を図3の信号3に、青時間、赤時間が5秒短く、信号サイクル長として10秒短い信号を信号4に設置した。

以上から、信号間隔及び信号の制御方法として、合計6パターンの道路状況について検討することとし、信号間隔Dに応じた信号の設定時間T1及びT2の設定詳細は、表1に示す通りとした。なお、信号間隔1000m、500m、250mで、系統速度は、それぞれ、60km/h、40km/h、30km/hとした。



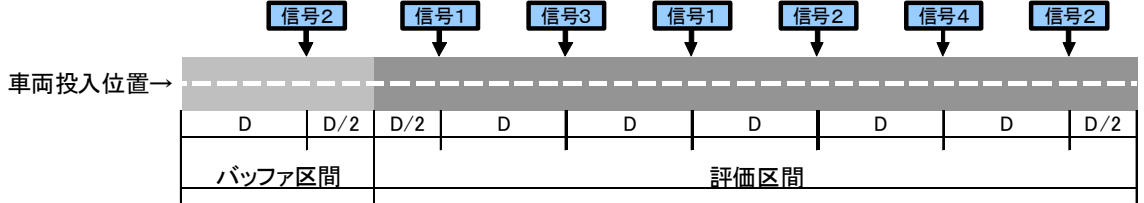
図ー 4 信号の制御方法と設定時間の概要

(4) 実信号道路の設定

実信号道路として、茨城県つくば市にある西大通りの学園西交差点から稲荷前交差点まで、国道408号線の松代交差点から榎戸交差点までの2区間を選定した。各区間の概要を表2に示す。平日の午前（8:00～9:00）及び午後（13:30～14:30）の2回、区間内の信号設定、区間中心付近での交通量を観測した。午前と午後では、同区間においても異なる信号制御が行われていた。また、信号制御方法は完全な系統制御ではないものの、同区間内の信号の多くが、同じ信号サイクル長で制御されており、概ね系統制御に近い状況となっていた。

表ー 2 実信号道路の概要

	国道408号線	西大通り
区間長	3.7km	3.9km
信号個数	7基	10基
制限速度	60km/h	60km/h
交通量		
午前: 南→北方向	832台/時	1836台/時
午前: 北→南方向	665台/時	1109台/時
午後: 南→北方向	589台/時	830台/時
午後: 北→南方向	558台/時	878台/時



図ー 3 パターン道路の設定概要

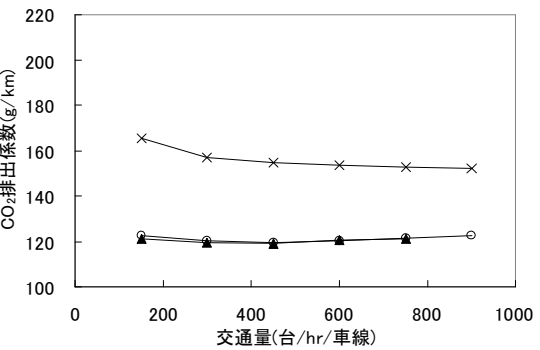
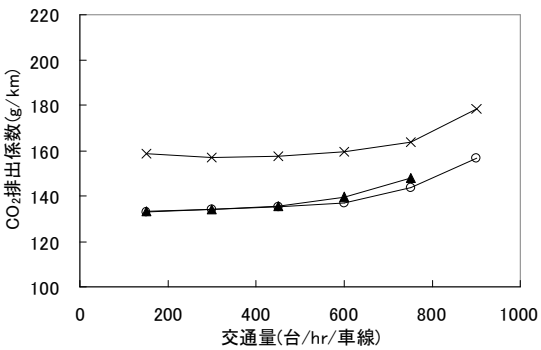
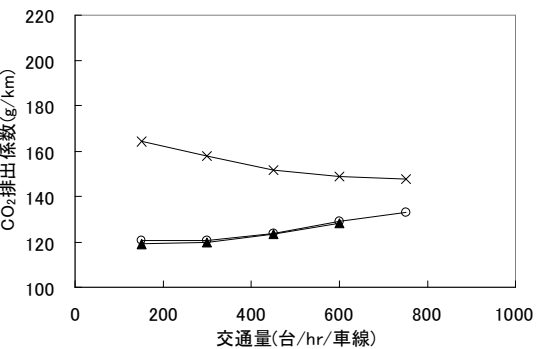
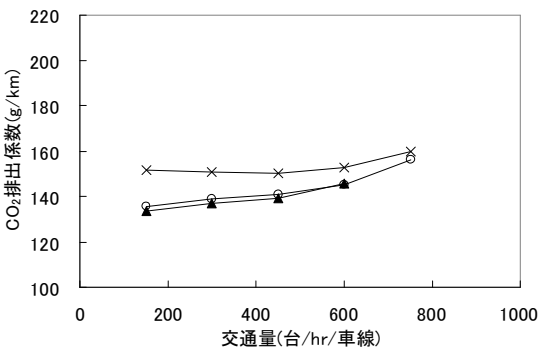
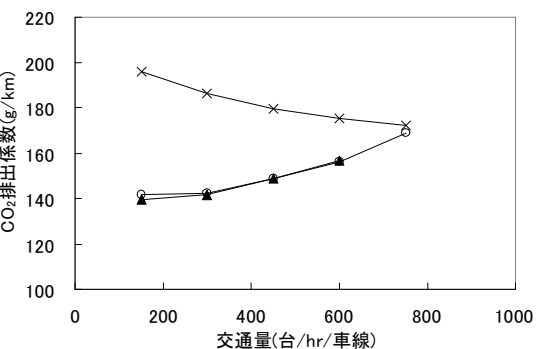
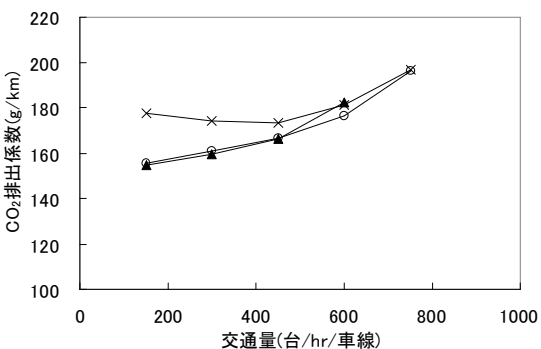
また、区間内には、左折及び右折の専用レーンや一部片側3車線道路となっている部分もあるが、交通量と信号制御の方法がエコドライブ効果に与える影響を評価することを本研究の目的としているため、パターン道路と同様に片側2車線道路とし、右左折や区間途中からの進入のない直進走行のみについて評価を実施した。なお、制限速度が60km/hであることから、運転挙動の設定として、希望速度は表1の信号間隔1000mの場合と同じとし、区間両端は車両投入位置として信号は設置していない。

(5) シミュレーションの検証

シミュレーションの結果は個々の車両の1秒毎の挙動を出力とし、流入交通量、希望速度の分布、最高加速度、最高減速度について、設定値が再現されていることを確認した。ただし、使用した交通流シミュレーションモデルでは、「3. 結果と考察 (3) エコドライブ実施率が

交通流に与える影響」で検討したように、異なる希望速度分布を持つ車両タイプ（エコ車と非エコ車）を設定し、それぞれの車両タイプの流入量を任意の割合で混入した場合、希望速度の分布が再現されないという現象があった。これは、プログラムのバグと考えられるが、バグを回避する設定を独自に行い、設定した希望速度の分布を再現した。なお、社団法人交通工学研究会では、交通シミュレーションクリアリングハウスを開設 (<http://www.jste.or.jp/sim/index.html>) しており、シミュレーションモデルの開発者や利用者が「標準検証プロセス」に準じて実施した「モデル基本検証(verification)」の結果を公表している。本研究で用いたVISSIMの検証結果も公表されており、交通流シミュレーションモデルとしての基本的な性能を満たしていると判断した。

表-3 パターン道路におけるCO₂排出係数の一覧

	系統制御	一部非系統制御
信号間隔 1000 m		
信号間隔 500 m		
信号間隔 250 m		
凡例	× 非エコ車 ○ エコ車(系統速度+ゆっくり減速) ▲ エコ車2(系統速度+ゆっくり減速+ゆっくり加速)	

表－４ パターン道路における１台当たりの平均遅れ時間の一覧

	系統制御	一部非系統制御
信号間隔 1000 m		
信号間隔 500 m		
信号間隔 250 m		
凡例	× 非エコ車 ○ エコ車(系統速度+ゆっくり減速) ▲ エコ車2(系統速度+ゆっくり減速+ゆっくり加速)	

3. 結果と考察

(1) パターン道路における交通状況の影響

2章で設定したパターン道路において、非エコ車及びエコ車がそれぞれ走行した場合に、交通量、信号密度、信号の制御方法といった交通状況が、CO₂排出量に与える影響について検討した。1車線あたりの交通量は、150台/hから150台/h刻みに増加させ、規定の交通量が流入できない、すなわち、車両投入位置側から1つ目の信号において、需要率が有効青時間比を上回った時点で検討から除外した。

パターン道路のシミュレーション結果一覧として、運転方法別に、信号制御方法と信号間隔に対応した交通量と交通流全体の平均CO₂排出係数の関係を表3に、交通量と評価区間における1台当たりの平均遅れ時間の関係を表4に示す。

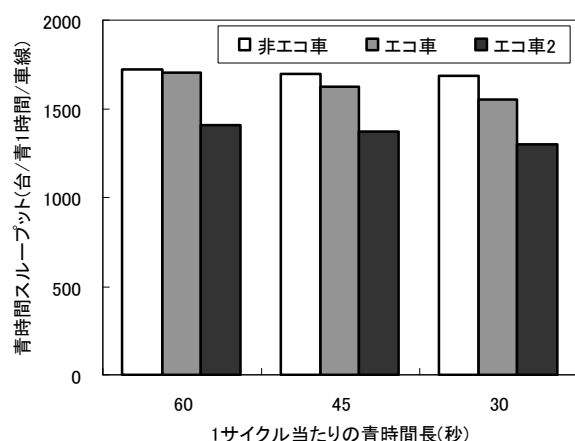
ここで、車両投入位置側から1つ目の信号における飽和状態での青時間スループットを、運転方法別に図5に示し、運転方法が流入量に与える影響について考察する。なお、図横軸の1サイクル当たりの青時間長60秒、45秒、30秒は、それぞれ、信号間隔1000m、500m、250mでの設定に対応している。

表3及び表4の最大車両流入量をみると、ゆっくり加速を行うエコ車2では、ゆっくり加速を行わないエコ車及び非エコ車に比べて、流入量は小さくなった。また、信号間隔1000mに比べて、信号間隔を500mまたは250mとした場合も、流入量は小さくなった。

同じ希望速度の分布を持つエコ車とエコ車2を比較すると、エコ車2の青時間スループットは小さいが、これは、ゆっくり加速によって発進損失時間が大きくなるためである。同じ加速度を設定した非エコ車とエコ車を比較すると、青時間長60秒では同程度のスループットであ

ったが、青時間長が短くなるほど、エコ車でのスループットは小さくなった。これは、希望速度の分布の違いと速度に依存した車頭時間の設定によるもので、希望速度の差が10km/hであっても、走行速度が低いほど車頭時間の差が大きくなるためである。また、青時間長が短くなるほど、いずれの運転方法でもスループットが小さくなるのは、相対的に発進損失時間が大きく、すなわち、有効青時間比が短くなるためである。

ゆっくり加速を行うエコ車2は、ゆっくり加速を行わないエコ車に比べてCO₂排出係数はほぼ同じであり、交通量の多い一部非系統制御においては、遅れ時間も非エコ車やエコ車に比べて大きく増加し、CO₂排出係数が増加する場合もあった。

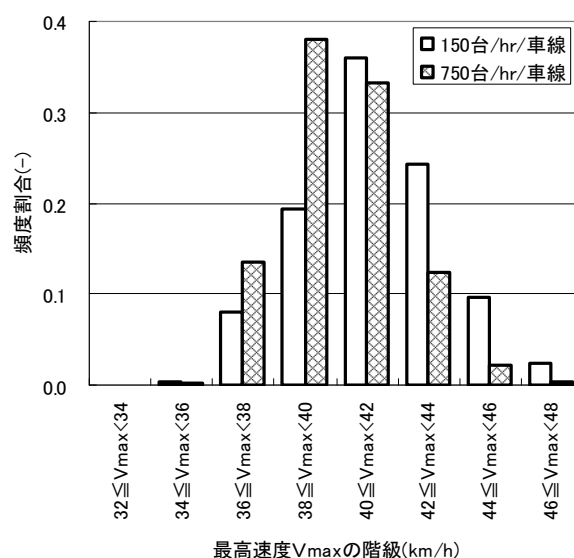


図ー5 飽和状態での青時間スループット

信号制御の違いを比較すると、表3に示すように、系統制御を行った場合には、一部非系統制御を行った場合よりも、CO₂排出係数がより小さくなる傾向がみられた。表4からも、系統制御での遅れ時間は小さく、系統信号でエコドライブを行うことがもっとも効果的であることが裏付けられる。

交通量の影響をみると、系統制御の非エコ車を除き、表4に示すように、交通量の増加にともない遅れ時間が増加することから、CO₂排出係数は増加傾向を示した。

系統制御の非エコ車では、表1及び図2に示したように、系統速度より10km/h高い速度に±5km/hの分布を持った希望速度を設定しているため、確実に各信号で減速と加速を繰り返し、交通量が少ない場合にも遅れ時間がエコ車に比べて大きくなった。交通量が増加すると、各車両が図3に示した希望速度分布での走行が困難となり、より低い希望速度を持った車両に追従するため、結果として交通量が少ない場合よりも系統速度に近い走行となり、CO₂排出係数が減少したと考えられた。例として、信号間隔500mの系統制御における交通量の増加にともなう非エコ車の最高速度分布の変化を図6に示す。最高速度が40km/h以上となる車両の割合が減少し、40km/h未満となる車両の割合が増加した。



図ー6 非エコ車の最高速度分布の変化
(信号間隔 500m の系統制御)

(2) 実信号道路における交通量の影響

2章で設定した実信号道路において、非エコ車及びエコ車がそれぞれ走行した場合に、交通量がCO₂排出量に与える影響について、(1)と同様に検討を行った。実信号道路のシミュレーション結果一覧を表5に示す。表中のグラフには、観測で得られた実交通量を一車線当たりの値とし点線で示した。

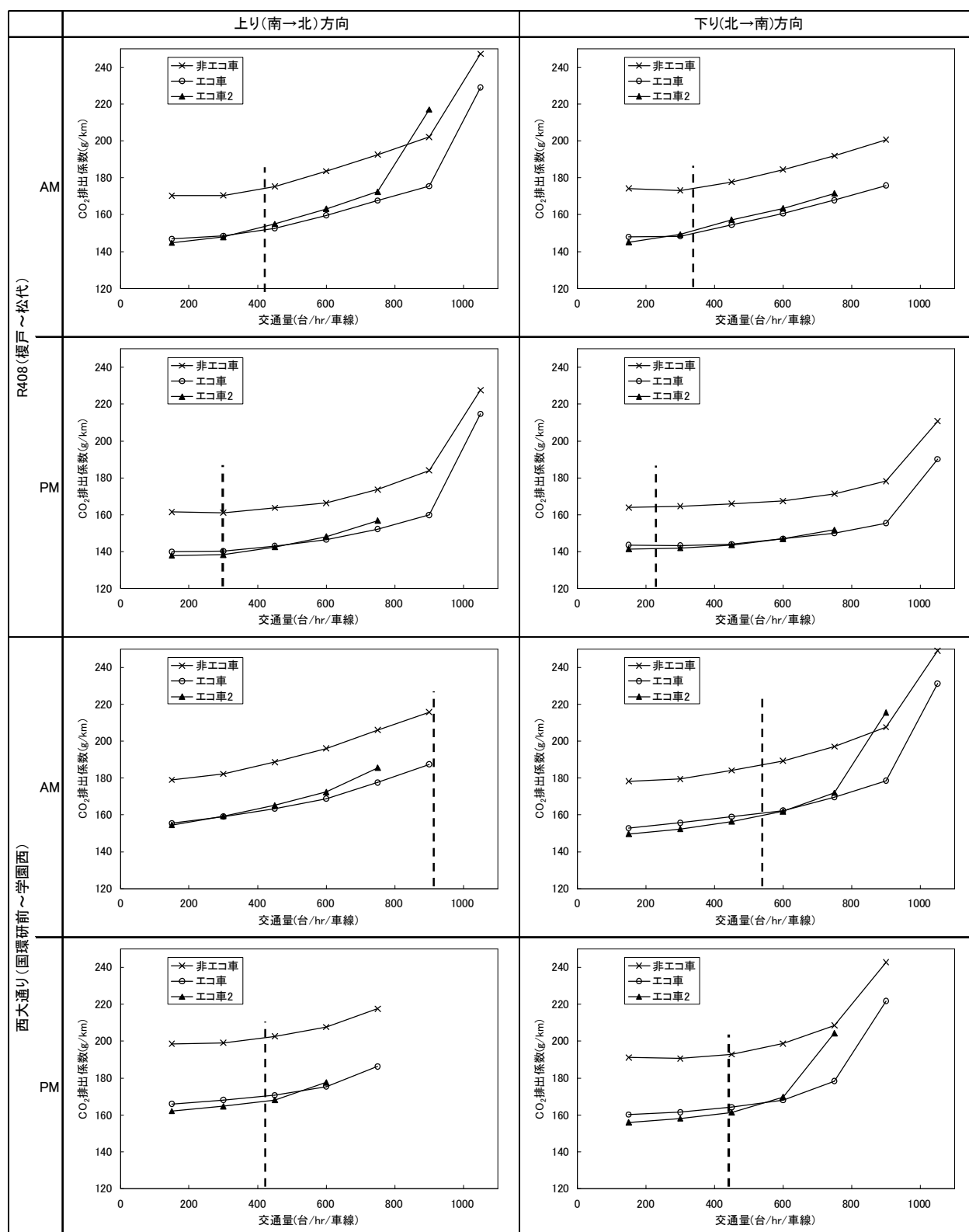
同区間においても、午前と午後では信号制御の方法が異なるため、CO₂排出係数には違いがみられたが、いずれのグラフも表3に示した信号間隔1000mの一部非系統制御のグラフと同様に、交通量の増加にともないCO₂排出係数が増加した。

また、交通量が多い場合には、CO₂削減効果が低減することがあるものの、「法定速度を守って等速運転を心がける」と「(減速時に) 早めのアクセルオフを心がける」の2つのポイントを実施するエコドライブを実施することで、13～16%のエコドライブ効果が得られた。

ただし、上の2つのポイントにゆっくり加速を加えて実施した場合は、西大通り南→北方向の午前を除き、需要率は有効青時間比を十分に下回っており、エコドライブ効果はほぼ同等となったが、西大通り南→北方向の午前では、ゆっくり加速を実施した場合、需要率が有効青時間比を上回り信号渋滞が発生し、CO₂排出係数が大きく増加する可能性があることが示唆された。

信号制御の方法は、時間帯のみならず、交通量に応じて変更される可能性もあるため、実交通量から大きく離れた推計は、信号の制御方法に変更がないと仮定した場合の結果ではあるが、実交通量において、どのようなエコドライブ方法が有効であり、どの程度のエコドライブ効果が期待できるのか知見を得ることができた。

表-5 実信号道路におけるCO₂排出係数の一覧



(3) エコドライブ実施率が交通流に与える影響

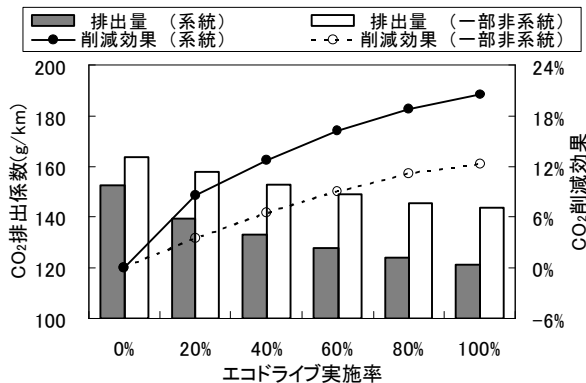
パターン道路において、エコドライブを実施する車両とエコドライブを実施しない車両を混入し、交通流のエコドライブ実施率がエコドライブを実施していない車両に与える影響と、交通流全体のCO₂排出量に与える影

響を検討した。

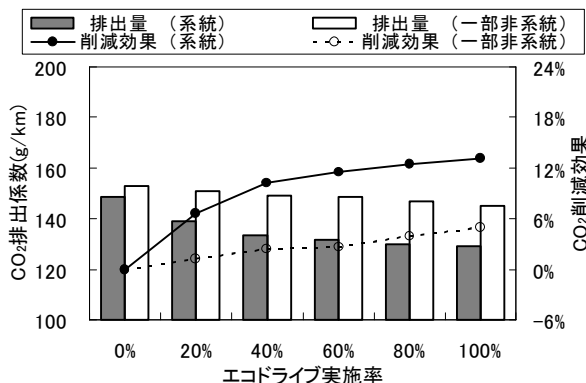
エコドライブ実施率は、非エコ車のみが走行する0%から、20%刻みに増加させ、エコ車のみが走行する100%までを検討した。1車線あたりの交通量は、各道路状況において、非エコ車のみが走行した際の需要率が、有効青時間比の8割程度となる場合を想定し、信号間隔1000m

の道路では750台/h、信号間隔500m、250mの道路ではともに600台/hとした。

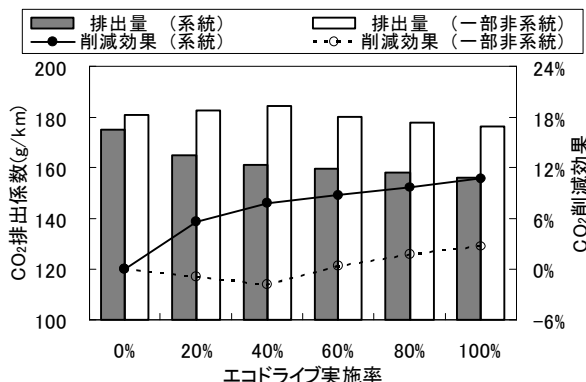
信号間隔1000mの道路におけるエコドライブ実施率と交通流全体のCO₂排出係数及びCO₂削減効果の関係を系統制御、一部非系統制御の別に図7に示す。同様に、信号間隔500m、250mの道路について、それぞれ、図8、図9に示す。CO₂削減効果とは、実施率0%に対する各実施率での削減割合を示した。なお、実施率0%及び100%のCO₂排出係数は、表3で対応した交通量のCO₂排出係数と同じである。



図ー7 エコドライブ実施率の影響
(信号間隔：1000m、交通量 750 台)



図ー8 エコドライブ実施率の影響
(信号間隔：500m、交通量 600 台)



図ー9 エコドライブ実施率の影響
(信号間隔：250m、交通量 600 台)

系統制御は、一部非系統制御と比較して、より大きなCO₂削減効果がみられた。

エコドライブの実施によって、平均速度は低下するものの、系統制御において、エコドライブ実施率100%とした場合のCO₂削減効果は、信号間隔1000m、500m、250mの道路で、それぞれ、20.5%、13.2%、10.8%となった。

信号間隔が短く、すなわち、信号密度が増加すると、CO₂削減効果が低下する傾向がみられた。

エコドライブ実施率とCO₂削減効果はリニアな関係ではなく、系統制御では、全ての道路において、20～80%の実施率では、実施率以上の削減効果がみられた。これは、非エコ車がエコ車の系統速度走行に追従し、非エコ車のCO₂排出係数も減少したためであった。

エコ車、非エコ車別のCO₂排出係数をみると、一部非系統制御では、信号間隔1000mの道路において、非エコ車のCO₂排出係数も減少した。しかし、信号間隔500mの道路においては、非エコ車のCO₂排出係数に影響はなく、信号間隔250mの道路においては、非エコ車のCO₂排出係数が増加した。

4. まとめ

交通状況に応じたCO₂排出量とエコドライブ実施率とCO₂排出量の関係について検討を行い、交通流シミュレーションで以下の結果を得た。

- ・希望速度を抑制するエコドライブを実施した場合、平均速度は低下するものの、交通流全体で見ても概ねCO₂削減効果がある。
- ・信号を系統制御とした場合の方が、エコドライブ効果が大きい。
- ・信号密度が高くかつ交通量が飽和状態に近い市街地ではエコドライブ効果が極めて小さい。
- ・ゆっくり加速による効果は小さく、交通量が多い場合には逆効果となる。
- ・エコドライブ車両の混入によって、エコドライブを実施していない車両のCO₂排出係数を減少させる影響もみられ、実施率以上のエコドライブ効果が得られる。

謝 辞

本研究は、独立行政法人国立環境研究所の所内競争的資金で実施した「交通流シミュレーションを用いたエコドライブ普及施策の評価に関する研究」で得られた知見である。研究を実施するにあたり、財団法人日本自動車研究所主任研究員林誠司氏、同研究員鈴木忠氏には排出量推計モデル作成等に関してご指導を頂きました。また、名古屋大学大学院教授中村英樹氏、同研究員鈴木一史氏、北海道大学大学院教授中辻隆氏には、交通量調査や交通流シミュレーションに関して、貴重な情報・ご意見を頂きました。この場をお借りして、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 谷口正明：省エネ運転の推進と燃料消費削減の可能性，交通工学，Vol. 41 (5)，pp. 54-62，2006.
- 2) 加藤秀樹，小林伸治：エコドライブにおける燃費改善要因の解析，自動車技術，Vol. 62 (11)，pp. 79-84，2008.
- 3) 小林ほか：交通流シミュレーションを用いたエコドライブの評価，第27回交通工学研究発表会論文集，pp. 317-320，2007.
- 4) 小林ほか：エコドライブ走行が交通流に与える影響に関する基礎的研究，第33回土木計画学研究・講演集，2006.
- 5) 加藤秀樹，小林伸治：交通流シミュレーションを用いたエコドライブ普及効果の評価，自動車技術，Vol. 64 (3)，pp. 51-56，2010.
- 6) JCAPII大気モデル統合化システムのホームページ，財団法人石油産業活性化センター
http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/airmodel/index_airmodel.html
- 7) 加藤ほか：一般道における最高速度抑制のエコドライブ効果に関する評価，第29回交通工学研究発表会論文集，pp. 209-212，2009.

交通量・信号制御の影響を考慮したエコドライブ効果の評価*

加藤秀樹**・松橋啓介***・小林伸治****・近藤美則*****

交通量や信号の制御方法に応じた効果的なエコドライブ方法やエコドライブ効果を定量的に明らかにし、エコドライブが運輸部門の温暖化対策として広く一般ドライバーに普及することを目的として、単純な信号間隔と制御方法をパターン化した道路と実道路の信号間隔と制御方法を再現した道路を対象として、交通流シミュレーションを用いて交通流全体のエコドライブ効果の評価を実施した。その結果、希望速度を抑制するエコドライブ方法は、交通流全体で見ても効果的な方法である。信号密度が高くかつ交通量が飽和状態に近い市街地ではエコドライブ効果が小さい。ゆっくり加速は、交通量が多い場合には逆効果となることを明らかにした。

Evaluation of Eco-Driving Effect Involved by Traffic Volume and Signal Control *

By Hideki KATO**・Keisuke MATSUHASHI***・Shinji KOBAYASHI****・Yoshinori KONDO*****

For widely spreading of eco-driving to the general driver as global warming measure of the transport sector, the effective eco-driving way and the quantitative effect according to traffic volume and signal control was evaluated using traffic flow simulation. As a result, the eco-driving way of holding down desired speed is an effective way for the whole traffic flow. In the city where the signal density is high and the traffic volume is near the saturation, the eco-driving effect decrease. Slowly acceleration has the opposite effect when the traffic volume is high.
